

万丹丹, 宿文姬, 郑志文, 等. 人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能与数值模拟分析[J]. 华南地震, 2021, 41(2): 113–118. [WAN Dandan, SU Wenji, ZHENG Zhiwen, et al. Mechanical Properties and Numerical Simulation Analysis of Large Diameter Cast-in-place Pile on Artificial High Steep Slope [J]. South China journal of seismology, 2021, 41(2): 113–118]

人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能与数值模拟分析

万丹丹^{1,2}, 宿文姬², 郑志文³, 符诗存³

(1. 广州南沙经济技术开发区建设中心, 广州 511455; 2. 华南理工大学土木与交通学院, 广州 510641;
3. 广东省地质环境监测总站, 广州 510510)

摘要: 为了研究人工高陡边坡段大直径灌注桩的受力性能和承载特性, 开展了人工高陡边坡段大直径灌注桩的受力性能和数值模拟分析。提出了在人工高陡边坡段大直径灌注桩与桩基周围土体相互作用的内力计算公式, 并利用 MADAS GTS 有限元软件建立有限元分析模型, 研究了竖向荷载、桩长、边坡坡度、桩径等各种因素对桩基体系承载性状的影响, 得出了竖向荷载的增大会增加桩基的受力和承载性能, 但是在位移允许的情况下, 决定桩基承载力的因素是桩身摩擦力; 增大桩长可以有效的减小桩基沉降和水平位移, 将桩基嵌入岩石层可以更大程度的控制桩基的沉降, 同时减小桩基的内力; 桩基选择在坡度较小的边坡上, 使得桩基能够更好地进行承载; 桩径的变化并不能较大的改变桩基的受力, 而且会造成资源的消耗, 所以实际工程中, 不建议采用增大桩基直径的方法提高桩基的承载力。

关键词: 人工高陡边坡; 大直径灌注桩; 受力性能; 承载特性; 数值模拟

中图分类号: TU753.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2021)02-0113-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.02.16

Mechanical Properties and Numerical Simulation Analysis of Large Diameter Cast-in-place Pile on Artificial High Steep Slope

WAN Dandan^{1,2}, SU Wenji², ZHENG Zhiwen³, FU Shicun³

(1. Nansha District Construction Center of Guangzhou, Guangzhou 511455, China; 2. School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China;
3. Guangdong Geological Environment Monitoring Station, Guangzhou 510510, China)

Abstract: In order to study the mechanical and bearing characteristics of large-diameter cast-in-place pile in high and steep slope section, the mechanical performance and numerical simulation analysis of large diameter cast-in-place pile in high and steep slope section are carried out. Using the finite element software of MADAS

收稿日期: 2021-02-10

基金项目: 广东省自然资源厅科技项目(GDZRZYKJ2020002)

作者简介: 万丹丹(1991-), 女, 硕士, 助理工程师, 主要从事工程管理工作。

E-mail: 465073495@qq.com

通信作者: 宿文姬(1969-), 女, 博士, 副教授, 主要从事岩土工程、地质灾害防灾减灾方面的研究。

E-mail: wjsu@scut.edu.cn

GTS to establish the finite element analysis model, the influence of vertical load, pile length, slope gradient and pile diameter on the bearing behavior of pile foundation system is studied, and it is concluded that the increase of vertical load will increase the bearing capacity of pile foundation, however, when the displacement is allowed, the factor determining the bearing capacity of pile foundation is the friction of pile body; enlarging the length of pile can effectively reduce the settlement and horizontal displacement of pile foundation, and embedding pile foundation into rock stratum can control the settlement of pile foundation to a greater degree and reduce the internal force of pile foundation at the same time; pile foundation is selected on the small slope, so that the pile foundation can better carry out the load; the variation of pile diameter cannot transform the stress of pile foundation largely, and it will cause the consumption of resources, so in the actual project, it is not recommended that to increase the diameter of pile foundation to improve the bearing capacity of pile foundation.

Keywords: High steep slope; Large diameter cast-in-place pile; Mechanical properties; Numerical Simulation

0 引言

目前,国内外对人工高陡边坡的桩基研究大多数集中于分析高承台桩基在横向荷载和桩侧土体推力作用下的内部应力应变变化规律、挠曲变形和桩基周围土体的位移变形等。对桩基的变形和桩土相互作用考虑的较为少见。由于桩基与土体的相互作用,使得人工高陡边坡段大直径灌注桩的受力特性研究更加值得关注。

杨博铭等人^[1-4]借用数学模型,从预应力锚索抗滑桩的受力形式和施工特点等方面,对其进行滑坡稳定性分析,得出了设计原则和理论计算方法,并研究了动态设计使其更加符合现实状况。赵明华、杨明辉等人^[5-10]计算出了桩顶沉降量的公式,并导出了按桩顶沉降量计算桩基承载力的方法,基于m法,采用幂级数方法求解,最终得出桩基内力及位移的有限差分解,从而更好地分析桩基的内力位移变形问题。雷勇^[11]在分析了嵌岩桩的承载特性和受力机理的基础上,建立了剪胀模型和以分维数表示的传递模型,得出了极限承载力的计算公式。朱良虎^[12]文章对大直径深长钻孔灌注桩的受力特点和研究现状进行了分析和总结。

然而,目前对于人工高陡边坡大直径灌注桩体系的受力承载机制缺乏较为系统的研究,对桩

基的变形和桩土相互作用考虑的较为少见。因此,本文拟重点针对人工高陡边坡区桩基受力性能和承载变形特性、受力与变形计算及不同因素对内力位移影响等方面进行研究,建立了桩基在边坡上的受力模型,总结归纳竖向荷载等各个因素对人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能的影响。

1 工程概况

粤东某人工高陡边坡段采用大直径灌注桩桩基,已知打入桩基后桩后坡体分为上下两层,其物理力学参数如表1所示。

2 建立几何模型

针对人工高陡边坡大直径灌注桩的受力特点,同时考虑到桩基与土体的相互作用、接触的非线性和岩土体的弹塑性,采用三维有限元数值模拟分析方法,对人工高陡边坡大直径灌注桩体系进行建模分析与计算。如图1所示,模型水平方向长度60 m,竖直方向高40 m,方向沿z方向纵向延伸30 m,边坡坡度为25°,桩基采用圆形截面,桩基直径为1 m,桩基长度为18 m,其中桩基嵌入下层岩土体4 m,同时对边坡周围土体性质进行

表 1 人工高陡边坡物理力学参数表
Table 1 Physical and mechanical parameters of artificial high steep slope

介质类型	弹性模量 E/MPa	泊松比 μ	重度 $\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	粘聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	本构
土层	8	0.33	18.8	15	22	摩尔库伦
岩层	120	0.3	20.3	50	30	摩尔库伦
混凝土	3×104	0.16	24	—	—	弹性

简化, 桩周岩土体分为两层。桩基周围土体取 15 倍桩径, 桩底厚度取 12 m, 边坡的具体尺寸可见图 1 所示, 具体的网格划分如图 2 所示:

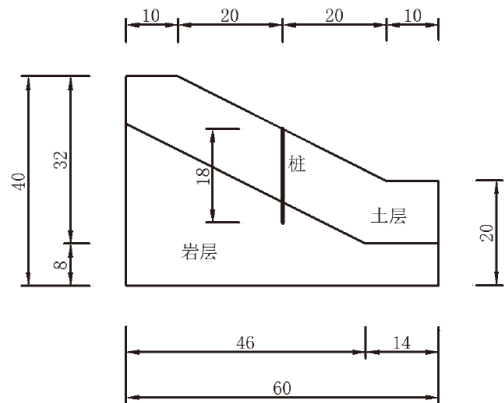


图 1 有限元模型几何尺寸(m)
Fig.1 Geometric dimension of finite element model (m)

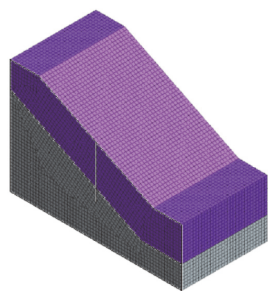


图 2 网格划分轴侧图
Fig.2 Axis side view of mesh generation

3 人工高陡边坡大直径灌注桩体系承载性状影响因素分析

3.1 竖向荷载的影响

为了研究桩顶所受竖向荷载对人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能的影响, 选取竖向荷载为 1000~3000 kN(500 kN 逐渐累加)的桩基进行有限元模拟分析, 其他参数保持不变, 不同荷载作用下各种对比图如图 3 至图 7 所示:

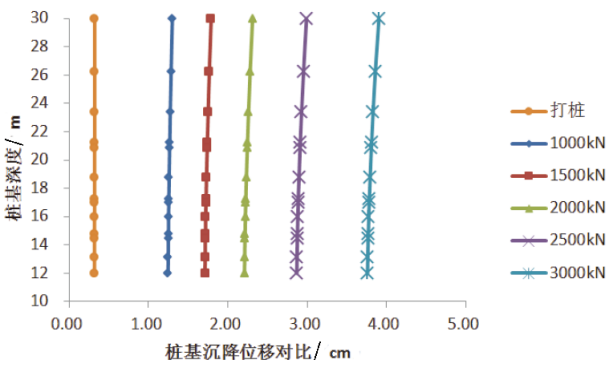


图 3 不同竖向荷载作用下桩基沉降位移对比图
Fig.3 Comparison of settlement displacement of pile foundation under different vertical loads

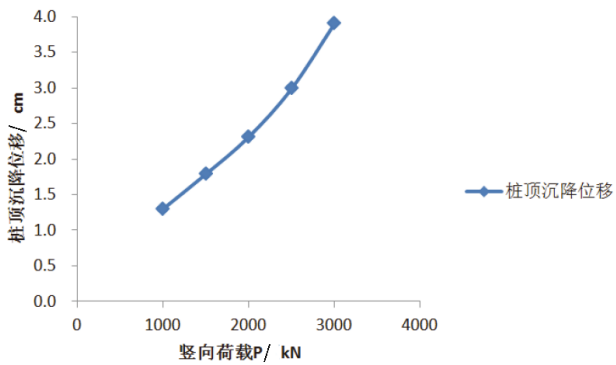


图 4 不同竖向荷载作用下桩顶沉降位移图
Fig.4 Settlement displacement dDiagram of pile top under different vertical loads

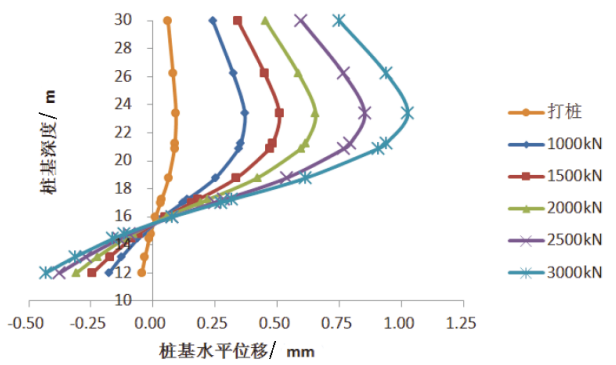


图 5 不同荷载作用下桩基水平位移对比图
Fig.5 Comparison of horizontal displacement of pile foundation under different loads

表 2 有限元对照分析模型参数

Table 2 Model parameters of finite element comparative analysis

编号	竖向荷载/kN (500 kN 累加)	桩长/m (2 m 累加)	边坡坡度/° (5°累加)	桩基直径/ m(0.1 m 累加)	土体弹性模量/ MPa	岩体弹性模量/ MPa	混凝土强度
SJ01~05	1000~3000	18	25	1.0	8	120	C30
SJ06~12	1000	8~20	25	1.0	8	120	C30
SJ13~18	1000	18	25~45	1.0	8	120	C30
SJ19~27	1000	18	25	1.0~1.8	8	120	C30

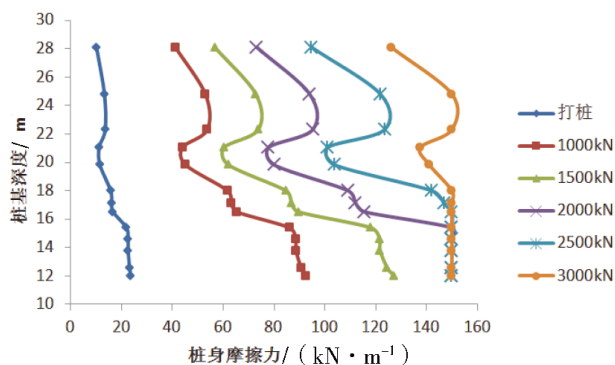


图6 不同荷载作用下桩基桩身摩擦力对比图

Fig.6 Comparison of pile friction under different loads

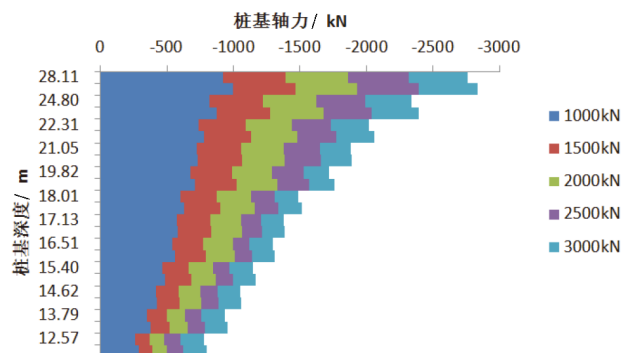


图7 不同荷载作用下桩基轴力对比图

Fig.7 Comparison of axial force of pile foundation under different loads

3.2 桩长的影响

为了研究桩基长度对人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能的影响,选取桩长为8~20 m(2 m 逐渐累加)的桩基进行有限元模拟分析,其他参数保持不变,从而得到不同桩长时各种对比图(图8~图12)。

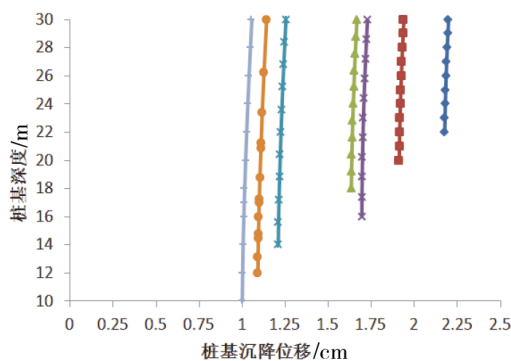


图8 不同桩长时各个桩基沉降位移图

Fig.8 Settlement displacement diagram of each pile foundation with different pile lengths

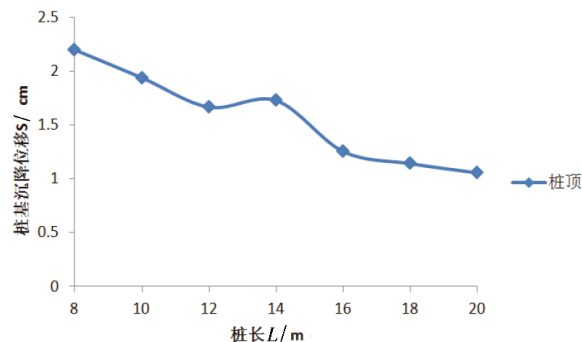


图9 桩长不同时桩顶沉降位移图

Fig.9 Settlement displacement diagram of pile top with different pile lengths

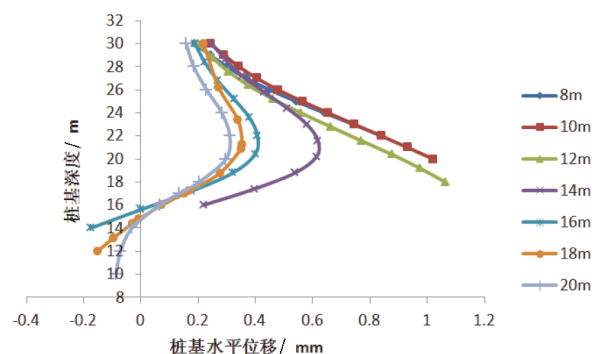


图10 不同桩长时各个桩基水平位移对比图

Fig.10 Comparison of horizontal displacement of each pile foundation with different pile lengths

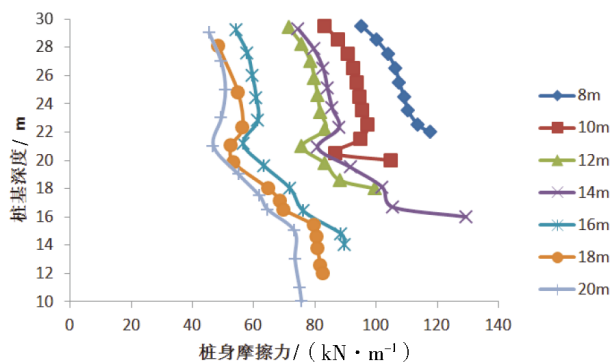


图11 不同桩长时各个桩基桩身摩擦力对比图

Fig.11 Comparison of friction force of each pile foundation with different pile lengths

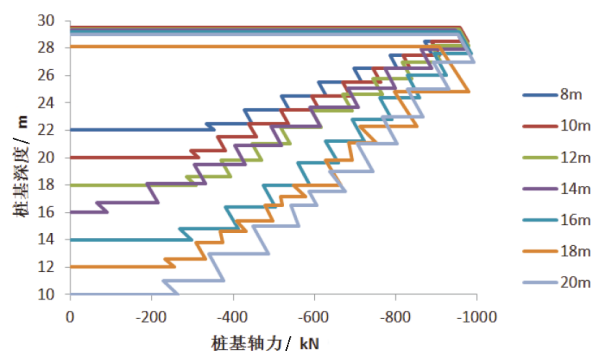


图12 不同桩长时桩基轴力对比图

Fig.12 Comparison of axial force of pile foundation with different pile lengths

3.3 边坡坡度的影响

为了研究人工高陡边坡的边坡坡度对人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能的影响,选取边坡坡度分别为 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ (5° 逐渐累加) 的桩基进行有限元模拟分析,其他参数保持不变,从而得到不同坡度时各种对比图(图 13~图 16)。

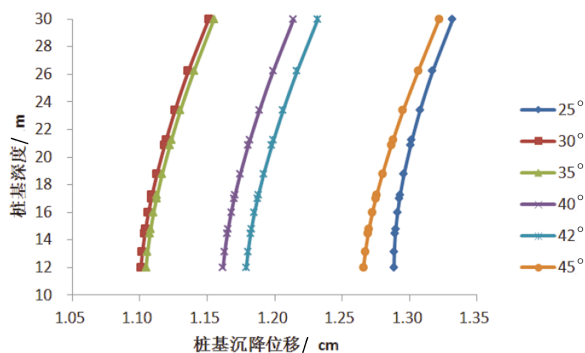


图 13 不同坡度时各个桩基沉降位移对比图

Fig.13 Comparison of settlement displacement of each pile foundation under different slopes

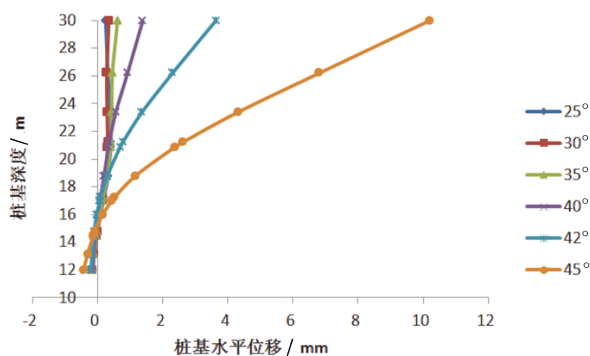


图 14 不同坡度时各个桩基水平位移对比图

Fig.14 Comparison of horizontal displacement of each pile foundation under different slopes

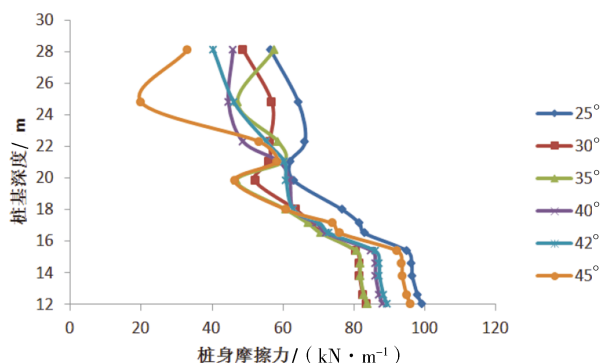


图 15 不同坡度时各个桩基桩身摩擦力对比图

Fig.15 Comparison of friction force of Pile Foundation under different slopes

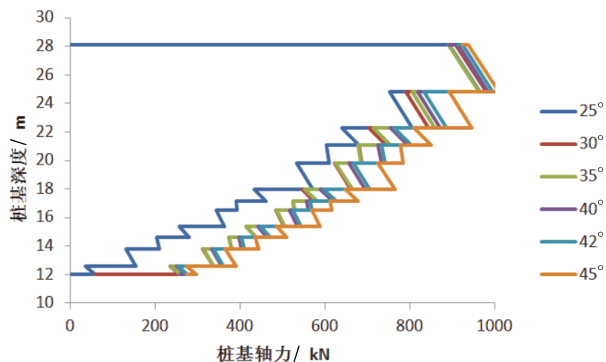


图 16 不同坡度时各个桩基轴力对比图

Fig.16 Comparison of axial force of each pile foundation under different slopes

3.4 桩径的影响

为了研究桩基直径对人工高陡边坡大直径灌注桩受力性能的影响,选取桩径分别为 $1.0\sim 1.8\text{ m}$ (0.1 m 累加) 的桩基进行有限元模拟分析,其他参数保持不变,从而不同桩径时各种对比图(图 17~图 20)。

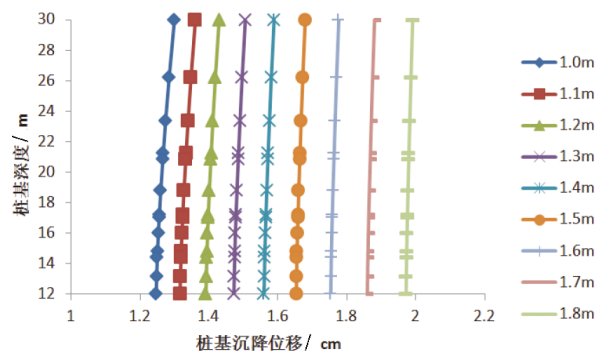


图 17 不同桩径时各个桩基沉降位移对比图

Fig.17 Comparison of settlement displacement of each pile foundation with different pile diameters

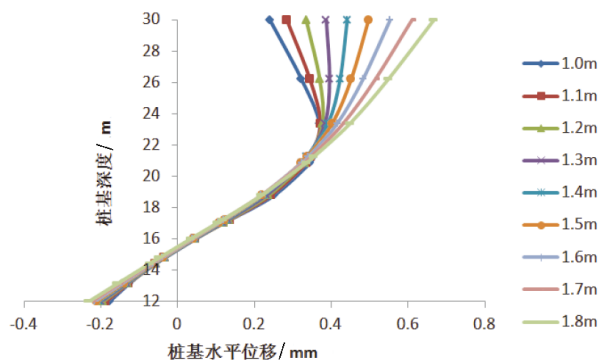


图 18 不同桩径时各个桩基水平位移对比图

Fig.18 Comparison of horizontal displacement of each pile foundation with different pile diameters

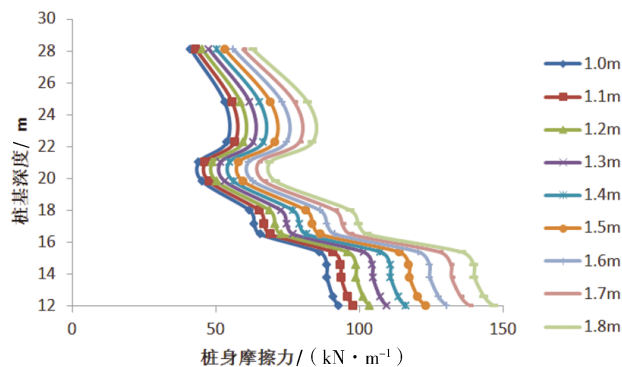


图 19 不同桩径时各个桩基桩身摩擦力对比图

Fig.19 Comparison of friction force of each pile foundation with different pile diameters

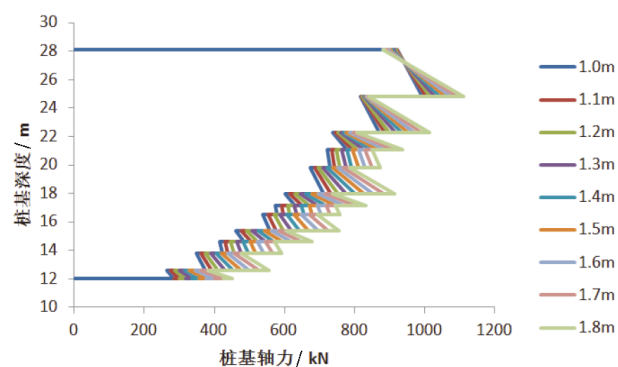


图 20 不同桩径时各个桩基轴力对比图

Fig.20 Comparison of axial force of each pile foundation with different pile diameters

4 结论

(1)桩基在竖向荷载不断增加的条件下,桩基的沉降位移和水平位移都在不断增大,桩身摩擦力和桩基轴力也在不断变大,而以上四种因素,桩身摩擦力最先达到极限,因此当不断施加荷载时,应该首先考虑桩身摩擦力是否超过允许值,其次兼顾各种变形,防止因某一变形过大而导致桩基破坏。

(2)桩基在改变桩长时,桩基沉降位移、桩基水平位移和桩身摩擦力都是随着桩长的增大而减小,桩基桩顶轴力无明显变化,沿桩长的衰减速率变快。由此可得,桩基在边坡上尽量应嵌入岩体层,这样可以有效的减小桩基的水平位移、沉降位移和桩身摩擦力,从而可以减小桩基的变形,更加有利于桩基在边坡上的承载。

(3)桩基在边坡坡度不断增加的情况下,桩基沉降基本上不断增大,桩基水平位移成倍的增大,桩身摩擦力在上部土体变化无规律,下部土体在不断减小,桩基轴力在不断增大。因此,可见在

选址时应尽量选择坡度较缓的坡面处,可以减小桩基水平位移,防止桩基因水平位移过大而失稳,影响桩基的受力能力。

(4)改变桩基的桩径时,桩基的沉降位移因桩径的增大而增大,而桩基的水平位移在上部土体随着桩径的增大而增大,下部土体没有明显变化,桩身摩擦力随着桩径的增大而增大,桩身轴力变化不明显,因桩径的变化带来的桩基内力和位移并无明显变化,且会造成材料浪费,所以在工程中,不推荐采用增大桩径的方法来控制桩基的内力和位移变形。

参考文献

- [1] 王用中,张河水. 弹性地基梁的压弯计算及其应用[J]. 桥梁建设,1985(4):30-52.
- [2] 杨博铭. 预应力锚索抗滑桩治理公路高陡边坡的理论与应用研究[D]. 长沙:湖南大学,2005.
- [3] 严飞淞,汪益敏,陈页开. 陡坡段公路桥梁桩基施工检测与性状分析[J]. 勘察科学技术,2006,20(3):28-31.
- [4] 余继东,马炽藩,汪益敏,等. 陡坡地段桥梁桩基的施工监测和有限元分析[J]. 高速公路,2006,15(7):100-104.
- [5] 杨明辉,刘广轩,赵明华,等. 高陡边坡桥梁桩基内力计算的幂级数解[J]. 中南大学学报(自然科学版),2007,11(6):561-566.
- [6] 蒋鹏飞,杨明辉. 陡坡段桥梁桩基嵌岩深度问题研究[J]. 公路工程,2007,26(5):10-14.
- [7] 罗卫华,刘建华,曹文贵,等. 岩质边坡桩柱式桥墩的受力分析研究[J]. 公路工程,2008,9(1):1-7.
- [8] 刘建华,赵明华,杨明辉,等. 高陡岩质边坡上桥梁基桩模型试验研究[J]. 岩土工程学报,2009(3):372-376.
- [9] 杨明辉,刘广轩,赵明华. 高陡横坡段桥梁双桩结构计算方法研究[J]. 公路交通科技,2010(8):55-66,60.
- [10] 龚先兵,杨明辉,赵明华. 山区高陡横坡段桥梁桩基承载机理模型试验[J]. 中国公路学报,2013(02):56-62.
- [11] 雷勇. 嵌岩桩竖向承载机理及其承载力计算方法研究[D]. 长沙:湖南大学,2011.
- [12] 朱良虎. 大直径深长钻孔灌注桩竖向承载力试验及有限元分析[D]. 重庆:重庆交通大学,2012.
- [13] 冯震,王连俊,许兆义. CFG 桩竖向荷载作用下水平位移和弯矩的试验研究[J]. 土木工程学报,2005,38(02):92-96.
- [14] 王磊,李家宝. 结构分析的有限差分法[M]. 北京:人民交通出版社,1982.
- [15] 王海涛. MADAS/GTS 岩土工程数值分析与设计——快速入门与使用技巧[M]. 大连:大连理工大学出版社,2013:5-7.